

# 接縫式混凝土鋪面之角隅應力分析

李英明<sup>1</sup> 李英豪<sup>2</sup>

<sup>1</sup>淡江大學土木工程研究所碩士

<sup>2</sup>淡江大學土木工程系副教授

## 摘要

本研究以有限元素法程式ILLI-SLAB分析接縫式混凝土鋪面版角隅的應力行為，運用因次分析與實驗設計原理考慮Westergaard所提角隅位置受尺寸效應、各種輪軸載重、外車道加寬、混凝土路肩與雙層版等因素影響時其角隅應力的反應，並配合最新的統計迴歸方法建立預估模式。運用預估模式可以快速準確的完成接縫式混凝土鋪面版角隅應力的計算，更可藉此從事接縫式混凝土鋪面版的分析設計與運用。文末提出案例驗證，說明運用修正因子R值修正Westergaard公式的步驟並初步驗證結果的準確性。

## 一、前言

以往剛性鋪面設計方法主要依照Westergaard的公式而來。但是，實際的鋪面往往與Westergaard所假設的無限或半無限版長有所不同，另外，鋪面上的輪軸載重組合情況並非只是Westergaard假設的單一的輪載重情況[圖一]，若再加上外車道加寬、混凝土路肩、多層版等情況，則鋪面的應力反應將會脫離Westergaard假設越來越遠，因此Westergaard的鋪面應力公式必須修正才能處理接縫式混凝土鋪面版的各種現實情況。雖然以有限元素法程式能夠求解接縫式混凝土鋪面版的應力，然而受到需要高速運算與記憶體龐大的電腦與訓練有素的人員等等因素限制了求解的正確與便利性，如何突破上述限制而能以快速而有效的方式準確的計算出鋪面的應力反應便成為一個極待解決的問題[1]。

## 二、鋪面版應力分析的發展

Westergaard [2]對於鋪面版受角隅圓形荷重，其版頂端最大拉應力公式為：

$$f_c = \frac{3P}{h^2} \left[ 1 - \left( \frac{\sqrt{2}a}{\beta} \right)^{0.6} \right] \quad (E.1)$$

其中 $\sigma_c$ ：角隅版頂部的最大拉應力，[FL<sup>-2</sup>]；P：載重，[F]；h：鋪面版厚度，[L]；a：載重區域半徑，[L]； $\beta$ ：鋪面版與基底層的相對勁度半徑， $\beta = ((Eh^3)/(12(1-\mu^2)k))^{0.25}$ ，[L]；E：鋪面版彈性模數，[FL<sup>-2</sup>]； $\mu$ ：波松比；k：基底層反力模數，[FL<sup>-3</sup>]；其中[F]與[L]分別代表力與長度的單位。其最大拉應力位置發生在版角隅對角線上距離角隅端 $x_1 = 2.38\sqrt{a}$ 之頂部位置。

本研究針對鋪面環境中的尺寸效應、輪軸載重組合、外車道加寬、路肩與多層版等情況作用時的角隅應力進行分析ILLI-SLAB程式輸入檔中均只考慮載重情況，亦即不具線性溫差的情況。以往的研究發現上述情況可以下式表示[3, 4]：

$$\frac{fh^2}{P}, \frac{uk\beta^2}{P}, \frac{q\beta^2}{P} = f \left( \frac{a}{\beta}, \frac{L}{\beta}, \frac{W}{\beta}, \frac{s}{\beta}, \frac{t}{\beta}, \frac{D_0}{\beta}, \frac{AGG}{k\beta}, \left( \frac{h_{eff}}{h_1} \right)^2 \right) \quad (E.2)$$

其中：L：有限版長，[L]；W：有限版寬，[L]；s：雙輪載重組合輪間距，[L]；t：雙軸載重組合軸間距，[L]；D<sub>0</sub>：外車道加寬寬度，[L]；AGG：骨材互鎖因子，[FL<sup>-2</sup>]；h<sub>eff</sub>：上層版的有效厚度，[L]；h<sub>1</sub>：上層版原來厚度，[L]。ILLI-SLAB程式所得的拉應力值採用版頂端最大次要主應力(Minor Principal Stress)。

### 三、版的尺寸效應

分析版的尺寸效應時，採用以下的因次化參數來執行ILLI-SLAB程式：

$$a/\beta : 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, \quad L/\beta \text{ and } W/\beta : 2, 3, 4, 5, 6, 7 \quad (L/\beta \geq W/\beta)$$

L/ $\beta$ ，W/ $\beta$ 等於7的狀況可確保無限版長。因只選擇L/ $\beta$ ≥W/ $\beta$ 的情況，所以共執行了84個程式檔。由投影追逐迴歸(PPR)分析，求得修正因子預估模式為[3]：

$$\begin{aligned} R = \frac{f_i}{f_c} &= 1.030 + 0.030\Phi_1 + 0.045\Phi_2 \\ \Phi_1 &= 92.145 - 149.276(A1) + 59.747(A1)^2 \\ \Phi_2 &= \begin{cases} -6.034 + 23.128(A2) - 22.022(A2)^2 & \text{if } A2 \leq 0.6 \\ -0.117 + 0.375(A2) & \text{if } 0.6 < A2 \end{cases} \\ A1 &= 0.8272.x1 - 0.1219.x2 + 0.0002.x3 + 0.5485.x4 \\ A2 &= -0.9034.x1 + 0.2973.x2 - 0.0118.x3 - 0.3088.x4 \\ X1 &= [x1, x2, x3, x4] = \left[ \frac{a}{\beta}, \frac{L}{\beta} + \frac{W}{\beta}, \frac{L}{\beta} \times \frac{W}{\beta}, \sqrt{\frac{L}{\beta}} + \sqrt{\frac{W}{\beta}} \right] \end{aligned} \quad (E.3)$$

統計參數：N=84, R<sup>2</sup>=0.98, SEE=0.0081

限制：  $0.05 \leq a/\} \leq 0.3, 2 \leq L/\} \leq 7, W/\} \leq L/\}$

其中 N：資料點的數量,  $R^2$ ：決定係數, SEE：估計值的標準差。當版之尺寸 (L/}, W/}) 大於 7.0 時，可將其設定為 7.0，再利用本預估模式求其 R 值。

#### 四、輪軸載重組合的修正

輪軸載重組合修正是將多個輪載重分析為單一輪載重的效應，修正因子 R 定義為： $R = \sigma_s / \sigma_{s=0}$  或  $R = \sigma_t / \sigma_{t=0}$ ，其中  $\sigma_s, \sigma_t$ ：分別為多輪或多軸時版中產生的最大應力值； $\sigma_{s=0}, \sigma_{t=0}$ ：為在輪間距  $s=0$  或軸間距  $t=0$  時版中產生的最大應力值。

執行一系列的 ILLI-SLAB 程式時，版的尺寸設定為無限版長的情況，輸入檔中之 L/} 與 W/} 假設為 10，以確定當輪間距  $s$  或軸間距  $t$  增加時輪軸所處位置之版仍為無限版長的情況。分析時考慮的參數有  $a/\}, s/\}$  或  $t/\}$ ，其中  $a/\}$ : 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4,  $s/\}$  或  $t/\}$  的配置為 0 至 4，間隔為 0.2，並參照 Ioannides[5] 對網格切割的建議。

##### 4.1 雙輪單軸/單輪雙軸

研究結果發現，雙輪單軸載重情況下的 R 值可能會小於 0.5，若以設計的考慮可將 R 值的下限定為 0.5，則當  $s/\}$  逐漸增加至 1.5 時，即可成為單一輪載重的情形[圖二]。由投影追逐迴歸(PPR)分析求得修正因子預估模式為：

$$\begin{aligned} R &= 0.6028 + 0.1338 \Phi_1 + 0.00687 \Phi_2 \\ \Phi_1 &= \begin{cases} 0.548 + 0.861(A1) + 0.208(A1)^2 + 0.0176(A1)^3 & \text{if } A1 \leq -2.0 \\ 2.963 + 4.594(A1) + 2.249(A1)^2 + 0.407(A1)^3 & \text{if } A1 > -2.0 \end{cases} \\ \Phi_2 &= \begin{cases} -0.382 - 0.364(A2) & \text{if } A2 \leq -0.04 \\ 1.109 + 39.675(A2) & \text{if } A2 > -0.04 \end{cases} \\ A1 &= -0.986x_1 + 0.00507x_2 + 0.164x_3 - 0.0121x_4 \\ A2 &= -0.0412x_1 - 0.918x_2 + 0.393x_3 + 0.00129x_4 \\ X &= [x_1, x_2, x_3, x_4] = \left[ \frac{s}{\}, \frac{a}{\}, \frac{s \times a}{\}^2, \frac{s}{a} \right] \end{aligned} \quad (E.4)$$

Statistics : N=105 ,  $R^2=1.000$ , SEE=0.0026

Limits :  $0.05 \leq (a/\}) \leq 0.4$  ,  $0 \leq (s/\}) \leq 4$

角隅載重下的單輪雙軸載重情況可以利用雙輪單軸載重的方式來求得 R 值。

##### 4.2 單輪三軸

研究結果發現，角隅單輪三軸載重當 $t/a$ 達1.7時，R值可趨於1/3，即版頂端最大拉應力反應成為與單一輪載重時相同的情形，由圖三可看出此一趨勢。角隅載重情況之版頂端最大拉應力位置變化不定，本節所採取的是其最大拉應力，對於位置因素將另外考慮。由投影追逐迴歸(PPR)分析求得修正因子預估模式為：

$$R = 0.4468 + 0.1679\Phi_1$$

$$\Phi_1 = \begin{cases} -0.154 + 0.346(A1) + 0.0986(A1)^2 + 0.0101(A1)^3 & \text{if } A1 \leq 2.5 \\ 3.169 + 5.426(A1) + 2.880(A1)^2 + 0.528(A1)^3 & \text{if } A1 > 2.5 \end{cases}$$

$$A1 = -0.9999x_1 + 0.00576x_2 - 0.0122x_3$$

$$X = [x_1, x_2, x_3] = \left[ \frac{t}{a}, \frac{a}{t}, \frac{t}{a} \right] \quad (E.5)$$

Statistics : N= 105, R<sup>2</sup>=0.996, SEE=0.0103

Limits :  $0.05 \leq (a/t) \leq 0.4$  ,  $0 \leq (t/a) \leq 4$

### 4.3 輪間距或軸間距對應力的影響

綜合研究結果發現，當輪間距 $s$ 或軸間距 $t$ 增加至4 $a$ ，則修正因子將會降低至1/2（兩個輪載重的情況）或1/3（三個輪載重的情況）。顯示當輪間距 $s$ 或軸間距 $t$ 增加，達到Ioannides[5]所提鋪面版角隅載重情況的尺寸達無限（Infinite）版長情況4 $a$ 時，則可以只考慮成為單一輪載重的情況。另外若以設計的觀點將雙輪單軸最大拉應力的下限定為單一輪軸作用時的所生的應力，由於雙輪單軸與單輪雙軸之角隅其最大拉應力會降低至比單一輪軸作用時更小，則當輪間距 $s$ 或軸間距 $t$ 大於1.7 $a$ 時，其餘輪軸的影響可以不予考慮。

## 五、外車道加寬的修正

定義外車道加寬之應力修正因子 $R = \sigma_D / \sigma_{D=0}$ ，其中 $\sigma_D$ 為有外車道加寬時的應力值， $\sigma_{D=0}$ 為沒有外車道加寬時的應力值。角隅採版頂端最大拉應力。當 $D_0/a$ 逐漸增加會使得載重位置的情況越來越像邊緣載重的情形，因此當 $D_0/a$ 逐漸增加時，版頂端最大拉應力將會逐漸減小。執行系列的ILLI-SLAB程式時，版的尺寸設定為無限版長的情況，考慮的參數有 $a/t$ ， $D_0/a$ ，其中 $a/t$ : 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4， $D_0/a$ 的配置為0至4，間隔為0.2。由PPR分析，求得修正因子預估模式為：

$$\begin{aligned}
R &= 0.4429 + 0.1853\Phi_1 + 0.0335\Phi_2 \\
\Phi_1 &= \begin{cases} 0.786 + 1.434(A1) + 0.463(A1)^2 + 0.0531(A1)^3 & \text{if } A1 \leq -1 \\ 3.144 + 8.390(A1) + 7.674(A1)^2 + 2.667(A1)^3 & \text{if } A1 > -1 \end{cases} \\
\Phi_2 &= \begin{cases} > 0.581 + 4.406(A2) + 16.204(A2)^2 & \text{if } A2 \leq 0.1 \\ > 0.408 + 4.209(A2) & \text{if } A2 > 0.1 \end{cases} \\
A1 &= 0.780x_1 + 0.0597x_2 + 0.622x_3 + 0.00333x_4 \\
A2 &= 0.0524x_1 + 0.781x_2 + 0.622x_3 + 0.00737x_4 \\
X &= [x_1, x_2, x_3, x_4]^T = \left\{ \frac{D_0}{a}, \frac{D_0}{a}, \frac{D_0}{a^2}, \frac{D_0}{a} \right\}
\end{aligned} \tag{E.6}$$

Statistics : N= 105, R<sup>2</sup>=0.998, SEE=0.0086

Limits : 0.05 ≤ (a / ) ≤ 0.4 , 0 ≤ (D<sub>0</sub> / ) ≤ 4

## 六、混凝土路肩的修正

Ioannides[5]與Korovesis[6]提出在分析路肩對應力的影響時所採用的控制參數是AGG/k}。本節考慮下列參數：a/}: 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, AGG/k}: 0, 5, 50, 500, 1000, 5000, 10000, 20000, 30000, 50000。定義混凝土路肩之應力修正因子  $R = \sigma_{AGG} / \sigma_{AGG=0}$ ，其中 $\sigma_{AGG}$ 與 $\sigma_{AGG=0}$ 各為有與沒有混凝土路肩時的應力值。由PPR分析，求得修正因子預估模式為：

$$\begin{aligned}
R &= 0.7543 + 0.1887\Phi_1 + 0.01840\Phi_2 \\
\Phi_1 &= \begin{cases} 12.940 + 15.138(A1) + 5.305(A1)^2 + 0.604(A1)^3 & \text{if } A1 \leq -2.55 \\ 1.321 + 0.154(A1) + 0.760(A1)^2 + 0.965(A1)^3 + 0.212(A1)^4 & \text{if } A1 > -2.55 \end{cases} \\
\Phi_2 &= 0.324 + 7.064(A2) + 7.003(A2)^2 \\
A1 &= -0.531x_1 + 0.636x_2 - 0.560x_3 + 0.00192x_4 \\
A2 &= -0.176x_1 - 0.682x_2 + 0.710x_3 + 0.00639x_4 \\
X &= [x_1, x_2, x_3, x_4]^T = \left\{ LAGG, \frac{a}{k}, \frac{LAGG * a}{k}, \frac{LAGG}{a} \right\} \\
\text{where, } LAGG &= \log_{10} \left( 1 + \frac{AGG}{k} \right)
\end{aligned} \tag{E.7}$$

Statistics : N=50, R<sup>2</sup>=1.000, SEE=0.0043

Limits : 0.05 ≤ (a / k) ≤ 0.4 , 0 ≤ (AGG / k) ≤ 50000

## 七、雙層版的修正

鋪面在建造時由於結構上的考慮會在鋪面版與基底層之間設計一層其強度介於基底層與鋪面版之間。此層材料具有應力折減的效果。在進行雙層版之應力分析時，必須將鋪面版與基底層的黏結情況分成兩種狀況：完全黏結與未黏結。對於未黏結情況的版可將雙層版表示成為單一版，其有效厚度為：

$$h_{eff} = \left[ h_1^2 + h_2^2 \left( \frac{E_2 h_2}{E_1 h_1} \right) \right]^{0.5} \quad (E.8)$$

因此在分析未黏結情況時採用 $(h_{eff}/h_1)^2$ 為無因次化的控制因子。h1為上層版的厚度。分析時執行一系列的ILLI-SLAB程式，以因次化分析研究雙層版其載重對版應力的影響，對於角隅狀況考慮下列參數：

$$a/): 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 \quad (h_{eff}/h_1)^2 : 1 - 2.0 \text{ step } 0.1$$

對於應力的折減定義為多層版時上層版的應力除以多層版時但下層版厚度為零時其上層版的應力，以修正因子R來表示。由(PPR)分析，求得其預估模式為：

$$R = 0.72692 + 0.14272\Phi_1 + 0.00933\Phi_2$$

$$\Phi_1 = \begin{cases} 3.31765 + 2.4036(A1) & \text{if } A1 \leq -1.4 \\ 5.72684 + 4.10244(A1) & \text{if } A1 > -1.4 \end{cases}$$

$$\Phi_2 = \begin{cases} 14.535 - 20.351(A2) + 5.986(A2)^2 & \text{if } A2 \leq 1.2 \\ 1.619 - 8.367(A2) + 4.877(A2)^2 & \text{if } A2 > 1.2 \end{cases}$$

$$A1 = 0.11914x_1 - 0.99288x_2$$

$$A2 = 0.65518x_1 + 0.75547x_2$$

$$X = [x_1, x_2] = \left[ \frac{a}{h_1}, \left( \frac{h_{eff}}{h_1} \right)^2 \right] \quad (E.9)$$

Statistics : N=55 , R<sup>2</sup>=0.998, SEE=0.0066

Limits :  $0.05 \leq (a / h_1) \leq 0.4$  ,  $1 \leq (h_{eff} / h_1)^2 \leq 2$

黏結的情況則利用變換剖面 (Transformed Section) 的觀念將雙層版轉換成為單一版。轉換的方式可參考Tabatabaie的公式[1, 7]。

## 八、案例驗證

假設一未黏結(unbonded)之接縫式雙層混凝土鋪面版(如圖四所示)，版尺寸為 188 英吋 x 147 英吋，上下層厚度(h1,h2)各為 10 英吋與 6 英吋，上下層彈性模數(E1,E2) 各為 6.00E+06 psi 與 2.01E+06 psi，波生比( $\mu_1, \mu_2$ )均為 0.15，混凝土版單位重( $\gamma_1, \gamma_2$ )均為 0.085pci，基底層反力模數(k)為 500pci。版與版間之橫向接續，其骨材互鎖因子(Aggregate Interlock Factor)為 5000psi。受一組三輪雙軸(即 6

個輪載重)之載重，每一輪載重區域均為 7.5 英吋 x10 英吋，即載重區域半徑(a)為 4.88 英吋，輪間距(s)為 15 英吋、軸間距(t)為 30 英吋，胎壓為 100psi。外車道加寬之寬度為 12 英吋。(其中，1 英吋 = 2.54 公分，1 psi = 0.07 kg/cm<sup>2</sup>，1 pci = 0.028 kg/cm<sup>3</sup>，1 kip = 1000 磅 = 454 公斤)。以下即為本文所建議之角隅版頂端最大拉應力的求解步驟，各計算細節可參閱表一與表二：

1. 對尺寸效應的修正：以公式(E.3)對於有限尺寸版求得修正因子R值=1.035。
2. 輪軸載重組合的修正：將雙輪三軸分解成為雙輪單軸與單輪三軸的組合，分別由公式(E.4)與公式(E.5)求得雙輪單軸與單輪三軸的修正因子R值為 0.762與0.459。將兩者所得之R值相乘，即為雙輪三軸的修正因子R=0.350。
3. 外車道加寬的修正：由公式(E.6)求得修正因子R值等於0.667。
4. 混凝土路肩的修正：由公式(E.7)求修正因子R值等於0.998。
5. 雙層版的修正：對於未黏結的雙層版，先由公式求得其等效的厚度之後，再求得其等效的相對勁度半徑後找出雙層版未黏結情況的 $a/h=0.149$ ， $(hefft/h1)^2=1.07$ ，由公式(E.9)求得修正因子R值等於0.941。
6. 對Westergaard理論公式的修正：雙輪三軸是由六個輪載重組合而成，其輪軸總載重為45kips，假設此六個輪載重重合成為單一輪載重的情況，則其應力為Westergaard公式所求得之解再乘以版尺寸效應的修正因子即可，然而，對於本案例所述具有輪軸組合、外車道加寬、混凝土路肩與雙層版未黏結情況，則第1~5項的修正因子必須加以考慮。Westergaard的公式解為 810psi，各種情況之整體修正R值為 $1.035*0.350*0.667*0.998*0.941=0.227$ ，故角隅版頂端最大拉應力為 $810*0.227=183.9psi$ 。
7. 與ILLI-SLAB應力相比較：依ILLI-SLAB程式求得之最大拉應力值為 134psi，顯示預測的結果與ILLI-SLAB程式解仍有些許差異。因此，我們更進一步地比較各種不同荷重狀況下之應力預估值(如表二所示)，很明顯地針對個別案例，本文所述之應力預估求算法均可求得與ILLI-SLAB程式解極為相近之值。經再一次的分析得知：由於各種不同狀況下之臨界位置經常改變，求得各應力修正因子均為臨界位置時之最大值，因此經由多次相乘之結果一般均較實際值為保守。因此，未來有必要更進一步地研究臨界位置的變化對應力之影響，以有效解決此差異。

## 九、結論與建議

為了解接縫式混凝土鋪面版角隅在各種情況下的應力行為，本研究利用 ILLI-SLAB 有限元素法程式，分析在角隅位置受各種輪軸載重、外車道加寬、路肩與雙層版等影響時其應力的反應，並以投影追逐迴歸分析法建立各種情況下角隅應力修正因子的預估方程式組，以快速而準確的估算角隅應力。

本研究考慮多輪軸情況版中的角隅應力反應並建立修正因子，以單一載重將多種輪軸載重簡化。本研究之 R 值具有一定的範圍（N 個輪： $1 \sim 1/N$ ）。對於多種輪軸載重簡化成為單一載重的研究發現當輪間距  $s$  或軸間距  $t$  與相對勁度半徑的比值（即  $s/r$  或  $t/r$ ）超過 1.7，則版中最大拉應力的反應可以視為單一輪載重的情況。對於外車道加寬，研究發現角隅情況時最大拉應力的位置不定，當外車道加寬超過  $3s$  時，建議直接將鋪面版的載重視為邊緣載重情況，若未超過  $3s$  時則可依預估方程式組求得 R 值乘以無外車道加寬時的角隅應力加以計算。

國內因為剛性鋪面的建造歷史較短，鋪面現地的反應資料值極少，建議未來能配合國內現地資料加以驗證或進行現地試驗分析。此外，並建議未來有必要更進一步地研究角隅應力臨界位置的改變、綴縫筋的應力傳遞效率、溫差作用、與不同的基底層模式對應力之影響。

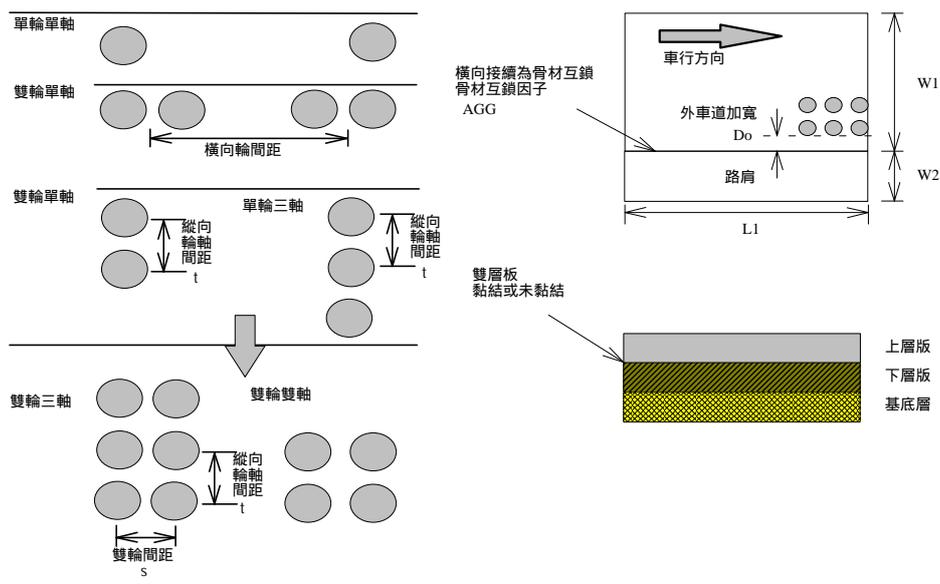
## 十、致謝

本文為行政院國家科學委員會專題研究計畫(編號 NSC84-2211-E-032-008)之部份成果，承蒙國科會經費贊助，特此致謝。

## 十一、參考文獻

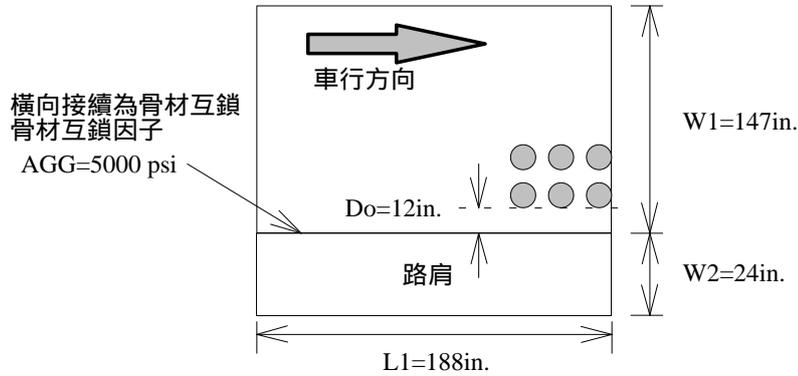
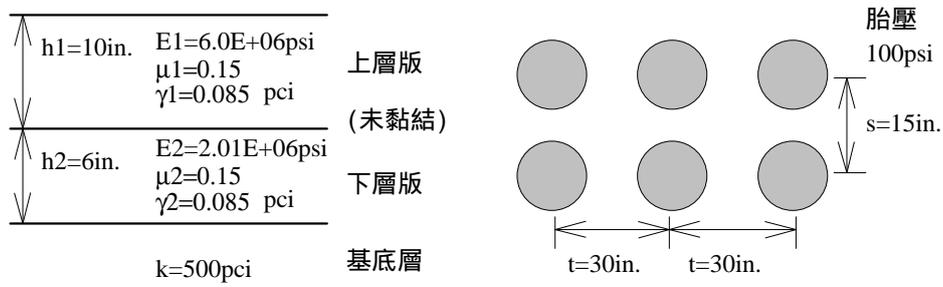
1. 李英明，「接縫式混凝土鋪面之應力分析」，碩士論文，淡江大學土木工程研究所運輸工程組，淡水，台北，民國八十四年六月(1995)。
2. Westergaard, H. M., "Computation of Stresses in Concrete Roads," Proceeding of the Fifth Annual Meeting, Vol. 5, Part I, Highway Research Board, National Research Council, 1925 (Published in 1926), pp. 90-112.
3. Lee, Y. H., "Development of Pavement Prediction Models," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, 1993.

4. Salsilli-Murua, R. A., "Calibrated Mechanistic Design Procedure for Jointed Plain Concrete Pavements," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, 1991.
5. Ioannides, A. M., M. R. Thompson and E. J. Barenberg, "Westergaard Solutions Reconsidered," Transportation Research Record 1043, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 13-23, 1985.
6. Korovesis, G. T., "Analysis of Slab-on-Grade Pavement Systems Subjected to Wheel and Temperature Loadings," Ph.D. Thesis, University of Illinois, 1990.
7. Tabatabaie-Raissi, A. M., "Structural Analysis of Concrete Pavement Joints," Ph.D. Thesis, University of Illinois, Urbana, 1978.



圖一 接縫式混凝土鋪面版之各種情況

圖二 雙輪單軸角隅應力R值變化的趨勢    圖三 單輪三軸角隅應力R值變化的趨勢



圖四 案例一狀況示意圖

表一 案例驗證之應力計算表

雙輪單軸		單輪三軸		外車道加寬		混凝土路肩		雙層版未黏結		版尺寸		結果	
a	4.88	a	4.88	a	4.88	AGG	5000	a/}	0.149	L	188	P	7500
}	31.8	t	30	}	31.8	k	500	(heff/h1)^2	1.072	W	147	h	10
s	15	t/}	0.943	Do	12	}	31.8	A1	-1.047	}	31.8	a/}	0.153
s/}	0.472	a/}	0.153	Do/}	0.377	a	4.88	A2	0.908	L/}	5.912	N	6.000
a/}	0.153	t/a	6.148	a/}	0.153	AGG/k}	0.314	Φ1	1.432	W/}	4.623	Wes. Stress	810.2
s*a/}^2	0.072	A1	-1.017	Do*a/}^2	0.058	LAGG	0.119	Φ2	0.994	a/}	0.153	Rtotal	0.227
s/a	3.074	Φ1	0.074	Do/a	2.459	a/}	0.153	R	0.941	(W/}+L/}	10.535	Max. Stress	183.6
A1	-0.490	R	0.459	A1	-0.276	LAGG*a/}	0.018			(W/})*L/}	27.329		
A2	-0.128			A2	-0.082	LAGG*/a	0.774			(W/})^0.5 + (L/})^0.5	4.581	ILLI-SLAB Stress	134
Φ1	1.205			Φ1	1.358	A1	0.026			A1	1.361		
Φ2	-0.335			Φ2	-0.834	A2	-0.108			A2	1.256		
R	0.762			R	0.667	Φ1	1.326			Φ1	-0.353		
						Φ2	-0.355			Φ2	0.354		
						R	0.998			R	1.035		

\*表中單位 L、W、h、a、}、s、t、Do:英吋、k:pci、AGG:psi。

表二 比較不同荷重狀況下之應力預估値

		無雙層版			有雙層版(未黏結)		
		R	預估應力, psi	ILLI-SLAB 應力, psi	R	預估應力, psi	ILLI-SLAB 應力, psi
無外車道加寬	雙輪單軸	0.789	213.0	213.5	0.742	200.3	200.9
	單輪三軸	0.475	192.4	199.2	0.447	181.0	187.7
有外車道加寬	雙輪單軸	0.362	293.2	279.2	0.341	276.2	265.1
	單輪三軸	0.526	142.0	148.3	0.495	133.7	140.3
無外車道加寬	雙輪單軸	0.317	128.4	115.2	0.298	120.7	109.5
	單輪三軸	0.241	195.2	165.3	0.227	183.9	157.5